

PEUPELEMENTS PHYTOPLANCTONNIQUES DU LAC TCHAD

I. STADE TCHAD NORMAL (FÉVRIER 1971 ET JANVIER 1972).

André ILTIS

Hydrobiologiste, O.R.S.T.O.M., B. P. 1434, Bouaké, R.C.I.

RÉSUMÉ

La densité du phytoplancton présent dans le lac Tchad varie entre 0,005 et 12 mg/l en février 1971 et entre 0,05 et 10,5 mg/l en janvier 1972. Les Cyanophytes, les Chlorophytes, les Diatomophycées et, à un degré moindre, les Pyrrophytes sont les groupes qui interviennent dans la composition de la biomasse. La diversité spécifique est maximale dans les eaux libres du nord.

L'étude de la structure des peuplements et des groupements spécifiques confirme le partage du lac en quatre grandes zones écologiques : eaux libres et archipel de la cuvette nord, eaux libres et archipel de la cuvette sud. Des peuplements phytoplanctoniques types ont été définis pour chacune de ces grandes zones.

Les espèces présentes sont identiques en 1971 et 1972 mais on note en 1972 un sensible accroissement de la biomasse moyenne accompagné d'une diminution des valeurs de l'indice de diversité spécifique et de la constante de milieu. Des différences dans la distribution du phytoplancton dans l'archipel sud-est apparaissent comme les premières perturbations dues à la baisse de niveau qui entraînera durant les années suivantes le partage du lac en plusieurs nappes d'eau.

ABSTRACT

The phytoplankton biomass in Chad lake ranges from 0,005 to 12 mg/l in february 1971 and from 0,05 to 10,5 mg/l in january 1972. Cyanophyta, Chlorophyta, Diatoms and, for a smaller degree, Pyrrophyta are the components of the present biomass. Specific diversity is maximal in the open waters of the northern part of the lake.

The partition of the lake in four ecological zones — open waters and archipelago of the northern part and open waters and archipelago of the southern part — is confirmed by the study of the structure of algal populations and the specific associations. Typical phytoplanktonic populations are defined for each of these ecological zones.

The species composition is the same in 1971 and 1972 but an evident growth of the phytoplanktonic biomass occurs between 1971 and 1972 correlated with a decrease of the values of the specific diversity and of the constant of milieu (or Motomura's constant). Differences in the phytoplankton distribution in the south-eastern archipelago seem to be the first perturbations owing to the subsidence of the water level that will bring about during the following years the partition of the lake in several isolated sheets of water.

1. INTRODUCTION

Des récoltes de phytoplancton ont été faites par simple prélèvement d'eau en trente cinq points du lac Tchad en février 1971 et en quarante points en

janvier 1972. A cette époque, par suite du déficit des apports du Chari depuis plusieurs années, le lac, qui a atteint sa cote la plus élevée depuis le début du siècle en 1963-1964, est depuis ces années en régression constante et régulière, de l'ordre de 0,3 m

par an. Malgré cette baisse de niveau, il est encore en 1971 et 1972, à un stade « Tchad normal » (TILHO, 1928) en ce qui concerne les surfaces en eau (18.000 km² environ) et le partage en plusieurs nappes d'eau indépendantes ne s'est pas encore produit, même à l'étiage. La cote du plan d'eau oscille entre 280,5 et 281,3 m environ. La période des prélèvements (janvier et février) correspond en ce qui concerne la circulation saisonnière des eaux dans le lac à la période de hautes eaux, le lac recevant en novembre et décembre près de 50 % des apports fluviaux; la poussée des eaux de crue est maximale et celles-ci, après avoir envahi la zone des eaux libres du sud et repoussé une partie des eaux qui y séjournaient dans l'archipel à l'est de Bol, gagnent les eaux libres de la partie nord; elles s'y mélangent aux eaux résiduelles et refoulent les eaux septentrionales des eaux libres du nord vers l'archipel de Nguigmi.

On pourra consulter GRAS *et al.* (1967), ROCHE (1969), CARMOUZE *et al.* (1972) pour une bonne connaissance du milieu étudié.

2. MÉTHODES UTILISÉES

Les échantillons ont été formolés à 10 % environ aussitôt après la récolte. Après homogénéisation, un ou plusieurs sous-échantillons ont été prélevés et on a dénombré au microscope inversé les algues présentes sur tout le fond de la coupelle de sédimentation; les filaments, les cénobes et les colonies ont été comptés comme une unité. Les valeurs obtenues ont été ensuite converties en biovolume après calcul du volume moyen de chaque espèce; celui-ci a été vérifié dans tous les prélèvements et corrigé suivant les variations qu'il pouvait subir selon les milieux.

Les volumes des 122 taxons environ qui interviennent de façon appréciable dans la biomasse figurent ci-dessous; celui des Diatomées a été apprécié d'après le volume global du frustule. Le volume total par échantillon a été majoré de 10 % pour compenser l'addition de fixateur au moment du prélèvement.

Les algues ayant sensiblement la même densité que le milieu dans lequel elles se développent, il a été admis qu'1 µl de matière vivante correspondait à 1 mg.

DIATOMÉES

<i>Cyclotella meneghiniana</i>	1900 à 3800 µ3
<i>Coscinodiscus rudolphi</i>	2650 à 4300 µ3
<i>Melosira granulata</i> (filam.).....	1600 à 6600 µ3
<i>Melosira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (filam.).....	800 à 8400 µ3

<i>Attheya zacchariasii</i>	210 µ3
<i>Synedra ulna</i>	4000 à 10500 µ3
<i>Synedra berolinensis</i> (col.).....	340 µ3
<i>Fragilaria construens</i>	175 µ3
<i>Eunotia asterionelloides</i> (col.).....	250 à 260 µ3
<i>Gyrosigma kutzingii</i>	5500 µ3
<i>Navicula</i> sp.....	2300 à 2900 µ3
<i>Nitzschia spiculum</i>	470 à 490 µ3
<i>Nitzschia</i> sp.....	380 à 560 µ3
<i>Amphora</i> sp.....	4200 à 5200 µ3
<i>Surirella linearis</i>	14800 µ3
<i>Surirella muelleri</i>	16000 µ3
<i>Surirella reicheltii</i>	13200 µ3

CHLOROPHYTES

Kystes ronds (<i>Chlamydomonas</i> ?).....	310 à 410 µ3
<i>Eudorina elegans</i> (col.).....	9000 à 37000 µ3
<i>Pandorina morum</i> (col.).....	24500 µ3
<i>Tetradron trigonum</i> (cénobe).....	40 à 120 µ3
<i>Tetradron caudatum</i> (cénobe).....	35 µ3
<i>Tetradron minimum</i> (cénobe).....	55 µ3
<i>Tetradron muticum</i> (cénobe).....	20 µ3
<i>Crucigenia fenestrata</i> (cénobe).....	115 µ3
<i>Crucigenia triangularis</i> (cénobe).....	65 à 80 µ3
<i>Crucigenia tetrapedia</i> (cénobe).....	65 µ3
<i>Crucigeniella crucifera</i> (cénobe).....	115 µ3
<i>Eremosphaera gigas</i>	4000 à 4200 µ3
<i>Nephrochlamys subsolitaria</i>	20 µ3
<i>Monoraphidium contortum</i>	25 µ3
<i>Chodatella</i> sp.....	180 µ3
<i>Actinastrum hantzschii</i> (cénobe).....	310 à 325 µ3
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (cénobe).....	280 à 300 µ3
<i>Scenedesmus acutus</i> (cénobe).....	280 à 480 µ3
<i>Scenedesmus brasiliensis</i> (cénobe).....	300 µ3
<i>Scenedesmus ecoris</i> (cénobe).....	145 à 520 µ3
<i>Scenedesmus opoliensis</i> (cénobe).....	550 à 1200 µ3
<i>Scenedesmus perforatus</i> (cénobe).....	470 à 590 µ3
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (cénobe).....	300 à 1000 µ3
<i>Scenedesmus intermedius</i> (cénobe).....	510 µ3
<i>Quadrigula quaternata</i> (col.).....	540 µ3
<i>Binuclearia eriensis</i> (filam.).....	440 µ3
<i>Ankistrodesmus</i> sp.....	200 à 230 µ3
<i>Coelastrum cambriacum</i> (col.).....	1200 µ3
<i>Coelastrum microporum</i> (col.).....	570 à 1050 µ3
<i>Tetrastrum heteracanthum</i> (cénobe).....	85 µ3
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> (col.).....	340 à 575 µ3
<i>Micractinium pusillum</i> (col.).....	680 µ3
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i> (col.).....	270 µ3
<i>Schroederia</i> sp.....	110 µ3
<i>Botryococcus braunii</i> (col.).....	2000 à 4100 µ3
<i>Selenastrum</i> sp. (cénobe).....	325 µ3
<i>Pediastrum duplex</i> (cénobe).....	1250 à 1600 µ3
<i>Pediastrum boryanum</i> (cénobe).....	230 à 670 µ3
<i>Pediastrum clathratum</i> (cénobe).....	2400 µ3
<i>Pediastrum tetras</i> (cénobe).....	410 à 450 µ3
<i>Gonolozogon monotaenium</i>	12100 µ3
<i>Closterium aciculare</i>	6000 µ3
<i>Closterium acutum</i> var. <i>variabile</i>	480 µ3
<i>Closterium</i> sp. (gracile ?).....	1240 µ3
<i>Closterium</i> sp.....	75000 µ3
<i>Closterium strigosum</i>	23000 µ3
<i>Cosmarium</i> sp.....	460 à 480 µ3

<i>Cosmarium</i> sp.....	4260 μ 3
<i>Cosmarium</i> sp.....	770 à 790 μ 3
<i>Cosmarium</i> sp.....	1150 μ 3
<i>Cosmarium</i> sp.....	430 à 440 μ 3
<i>Staurastrum cyclacanthum</i>	1800 μ 3
<i>Staurastrum excavatum</i> var. <i>planctonicum</i>	480 μ 3
<i>Staurastrum tetracerum</i>	540 μ 3
<i>Staurastrum</i> sp.....	540 μ 3
<i>Staurodesmus glaber</i>	5300 μ 3

EUGLÉNOPHYTES

<i>Euglena</i> sp.....	17100 à 28700 μ 3
<i>Euglena</i> sp.....	1600 à 2100 μ 3
<i>Euglena</i> sp.....	12500 à 14100 μ 3
<i>Euglena acus</i>	3200 à 11300 μ 3
<i>Euglena oxyuris</i> f. <i>charkowiensis</i>	51000 μ 3
<i>Phacus</i> sp.....	800 à 1480 μ 3
<i>Phacus platalea</i>	1500 à 1600 μ 3
<i>Phacus suecicus</i>	1260 μ 3
<i>Phacus agilis</i>	1850 à 7600 μ 3
<i>Phacus acuminatus</i>	800 μ 3
<i>Phacus longicauda</i>	2200 μ 3
<i>Phacus</i> sp.....	490 à 510 μ 3
<i>Trachelomonas</i> sp.....	1350 à 2150 μ 3
<i>Trachelomonas</i> sp.....	2000 à 2200 μ 3
<i>Trachelomonas</i> sp.....	14100 à 14800 μ 3
<i>Lepocinclis</i> sp.....	420 μ 3
<i>Lepocinclis</i> sp.....	4200 à 7800 μ 3
<i>Strombomonas fluviatilis</i>	770 à 1100 μ 3
<i>Strombomonas verrucosa</i>	4900 à 9200 μ 3

CYANOPHYTES

<i>Synechocystis minuscule</i>	10 μ 3
<i>Synechococcus leopoliensis</i> (col.).....	125 μ 3
<i>Merismopedia</i> sp. (col.).....	35 à 410 μ 3
<i>Chroococcus limneticus</i> (col.).....	610 μ 3
<i>Microcystis delicatissima</i> (col.).....	35 μ 3
<i>Microcystis elachista</i> (col.).....	170 μ 3
<i>Microcystis</i> sp. (col.).....	150 μ 3
<i>Microcystis aeruginosa</i> (col.).....	580 à 630 μ 3
<i>Anabaena flos-aquae</i> (filam.).....	1100 à 13000 μ 3
<i>Anabaena spiroïdes</i> (filam.).....	250 μ 3
<i>Anabaena</i> sp. (filam.).....	225 à 270 μ 3
<i>Anabaenopsis tanganiikae</i> (filam.).....	220 μ 3
<i>Anabaenopsis arnoldii</i> (filam.).....	260 à 280 μ 3
<i>Lyngbya limnetica</i> (filam.).....	125 μ 3
<i>Lyngbya contorta</i> (filam.).....	480 à 680 μ 3
<i>Coelosphaerium</i> sp.....	190 à 570 μ 3
<i>Raphidiopsis</i> sp. (filam.).....	115 à 140 μ 3
<i>Oscillatoria</i> (petit filament).....	140 à 180 μ 3
<i>Oscillatoria</i> (grand filament).....	2800 à 5700 μ 3
<i>Pseudanabaena muscicola</i> (filam.).....	45 μ 3
<i>Oscillatoria platensis</i> f. <i>minor</i> (filam.).....	2000 μ 3

CHRYSTOPHYTES. XANTHOPHYCÉES

<i>Synura</i> sp. (col.).....	4200 μ 3
<i>Mallomonas portae-ferrae</i>	2400 μ 3
<i>Ophiocytium capitatum</i>	510 μ 3

PYRRHOPHYTES

<i>Chroomonas</i> sp.....	115 μ 3
<i>Cryptomonas erosa</i>	1400 à 7200 μ 3
<i>Peridinium</i> sp.....	2200 μ 3

3. BIOVOLUMES PHYTOPLANCTONNIQUES

Les biovolumes trouvés en février 1971 et janvier 1972 ainsi que les pourcentages des groupes d'algues dans l'échantillon sont les suivants :

A. Février 1971 (fig. 1 et tabl. I).

De l'examen de la répartition du phytoplancton, il ressort que les biomasses les plus élevées se situent dans les parties de l'archipel les plus reculées, que ce soit les stations 28 et 29 (12 mg d'algues par litre) à l'est de Bol ou 14, 15 et 17 (3 mg d'algues par litre) dans l'extrême nord-est.

Les eaux libres situées au nord et à l'ouest du delta constituent la zone la plus pauvre en plancton avec des densités qui ne dépassent pas 0,1 mg d'algues par litre. Entre ces deux extrêmes, les eaux

TABLEAU I

Pt de prélèvement	Volume global μ^3 par ml	% Diat.	% Chlo.	% Eugl.	% Cya.	% Pyrrh.
1	38.389	61	4	0	35	0
2	67.709	9	0	0	91	0
3	24.762	92	0	0	8	0
4	12.615	7	0	0	93	0
5	5.243	35	8	0	57	0
6	657.970	1	90	0	9	0
7	245.520	37	50	0	13	0
8	484.346	10	80	0	10	0
9	759.082	11	77	0	12	0
10	827.794	0	69	2	5	24
11	520.778	0	61	0	22	17
12	928.427	0	34	0	53	13
13	1.340.248	0	46	0	13	41
14	3.098.425	0	3	0	97	0
15	2.077.743	0	4	0	96	0
16	939.537	0	9	0	91	0
17	1.933.607	0	12	0	88	0
18	1.235.197	0	53	0	40	7
19	838.777	0	71	0	14	15
20	892.078	0	76	2	3	19
21	1.159.158	0	84	0	9	7
22	527.043	22	54	0	4	20
23	241.917	19	68	6	7	0
24	117.348	15	58	0	11	16
25	91.075	38	44	8	10	0
26	133.826	46	37	0	17	0
27	601.678	49	32	0	19	0
28	3.693.387	29	15	0	56	0
29	12.141.250	0	2	0	98	0
30	424.402	38	40	0	22	0
31	131.472	68	26	0	6	0
32	92.950	34	57	0	9	0
33	144.936	54	39	0	7	0
34	79.145	61	35	0	4	0
35	80.817	60	33	0	7	0



Fig. 1. — Situation et composition des récoltes de phytoplancton en février 1971. Le diamètre des cercles est proportionnel à la densité du phytoplancton, sauf aux stations 14, 28 et 29 où la densité est élevée. Les biovolumes d'algues inférieurs à $0,14 \mu\text{l/l}$ sont signalés par un point. Les limites approximatives des eaux libres sont figurées en tireté.

libres de la partie nord possèdent un plancton relativement riche dont les biomasses se situent en moyenne entre 0,5 et 1 mg par litre.

Les Cyanophytes, les Chlorophytes, les Diatomophycées et, à un degré moindre, les Pyrrophytes sont les groupes qui interviennent le plus dans la composition de la biomasse dans la plus grande partie des échantillons. Les Diatomées sont en fortes proportions dans les eaux libres du sud et de l'est

du lac mais absentes des eaux libres de la zone nord, à l'inverse des Chlorophytes. Les Cyanophytes atteignent les plus fortes proportions aux extrémités de l'archipel où la densité algale est la plus élevée. Les Pyrrophytes représentées à peu près uniquement par une Cryptophycée, *Cryptomonas erosa*, et une Dinophycée du genre *Peridinium* n'occupent une place appréciable de la biomasse que dans l'archipel au nord et à l'est des eaux libres du nord. Les

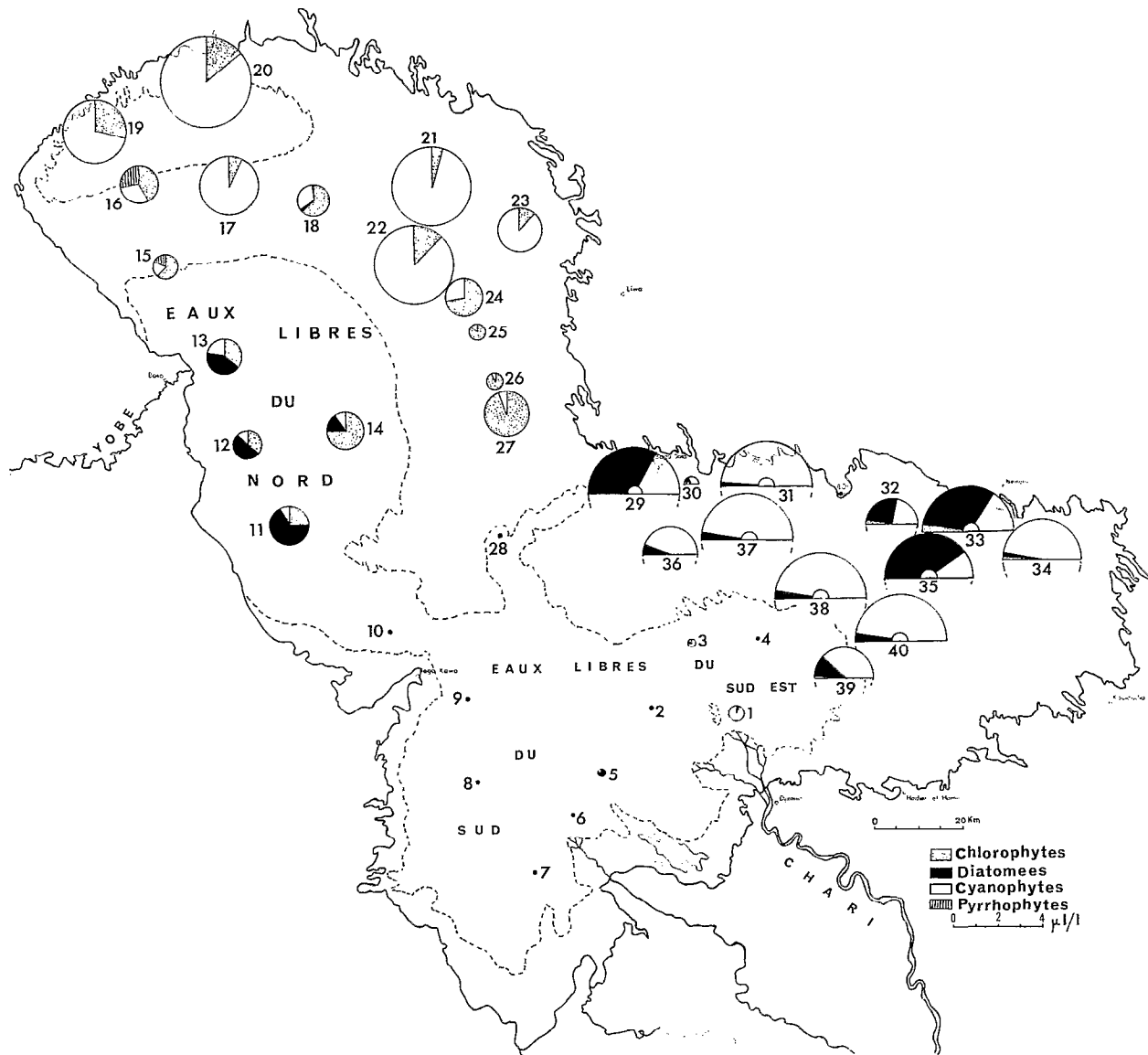


Fig. 2. — Situation et composition des récoltes de phytoplancton en janvier 1972. Le diamètre des cercles est proportionnel à la densité du phytoplancton sauf aux points 29, 31, 33, 35, 37, 38, 40 où la densité est très élevée. L'échelle utilisée est différente de celle de la figure 1. Les biovolumes d'algues inférieurs à $0,2 \mu\text{l/l}$ sont signalés par un point. Les limites approximatives des zones d'eaux libres sont figurées en tireté.

Euglénophytes et les Chrysophytes autres que les Diatomées sont absentes ou ne composent dans la plupart des prélèvements qu'une partie très faible du peuplement algal.

B. Janvier 1972 (fig. 2 et tabl. II).

Pour une période de prélèvement et des points de stations sensiblement identiques, les biovolumes d'algues sont nettement plus élevés en janvier 1972

que l'année précédente (la moyenne est de $1,045 \mu\text{l/l}$ en 1971 contre $2,383$ en 1972). Les zones les plus riches se situent dans l'archipel au nord et au nord-est du delta (station 29 à 40) et dans la région nord du lac au nord et au nord-est des eaux libres (stations 19 à 23), les plus pauvres dans les eaux libres à l'ouest du delta (stations 4 à 10 et 28).

Pour ce qui est de la composition de la biomasse, les mêmes groupes d'algues (Diatomées, Chloro-

TABLEAU II

Pt. de prélèvement	Volume global μ^3 par ml	% Diat.	% Chlo.	% Eugl.	% Cya.	% Pyrth.
1	648.901	5	0	0	95	0
2	182.268	98	0	0	2	0
3	302.164	18	74	0	8	0
4	165.533	75	1	0	24	0
5	324.747	92	0	0	8	0
6	93.346	39	0	0	61	0
7	59.988	45	2	0	42	11
8	60.237	17	3	0	71	9
9	148.379	40	0	0	60	0
10	130.702	62	0	0	38	0
11	1.789.067	69	25	0	6	0
12	1.207.250	55	30	0	15	0
13	1.501.115	16	31	0	23	0
14	1.610.675	17	74	0	9	0
15	1.080.420	0	64	0	17	19
16	1.571.405	0	43	0	30	27
17	2.582.003	0	8	0	92	0
18	1.384.113	3	62	0	33	2
19	2.957.387	0	28	0	71	1
20	4.112.075	0	13	0	87	0
21	3.329.755	0	4	0	96	0
22	3.504.160	0	13	0	87	0
23	2.031.700	0	13	0	87	0
24	1.655.808	0	73	0	27	0
25	672.732	0	85	0	15	0
26	706.530	0	92	0	7	1
27	2.073.379	0	94	0	6	0
28	51.375	41	34	0	25	0
29	4.942.883	68	0	0	32	0
30	557.590	20	12	0	68	0
31	6.280.697	2	0	0	98	0
32	2.439.563	55	4	0	41	0
33	4.988.665	67	4	0	29	0
34	3.553.687	2	1	0	97	0
35	7.162.787	83	0	0	17	0
36	2.521.117	13	0	0	87	0
37	10.535.030	5	0	0	95	0
38	6.194.100	7	0	0	93	0
39	2.730.310	23	1	0	76	0
40	7.476.975	7	0	0	93	0

phytes, Cyanophytes et à un degré moindre Pyrrophytes) représentent un pourcentage important; les Euglénophytes et les Chrysophytes autres que les Diatomées étant pratiquement absentes. Les Pyrrophytes sont représentées par les trois genres *Cryptomonas*, *Chroomonas*, *Peridinium*. Les Cyanophytes sont en général les plus abondantes dans les zones où la densité phytoplanctonique est élevée.

La répartition générale du plancton est dans son ensemble en février 1971 en concordance avec ce que l'on connaît de la circulation générale des eaux dans le lac (GARMOUZE, 1971). Dans la cuvette sud,

les eaux du Chari, alors en période de décrue et très pauvres en phytoplancton, ont envahi les eaux libres du sud-est et du sud (stations 1, 2, 3, 4 et 5). Elles ont refoulé les eaux des eaux libres vers l'extrémité est de l'archipel qui possède des peuplements algaux denses (stations 27, 28 et 29) où les Diatomées et Cyanophycées sont en concurrence tandis que l'archipel proprement dit (stations 23 à 26 et 30 à 35) reste très pauvre.

Dans la cuvette nord, la direction des eaux de crue est influencée par l'harmattan qui souffle de nord-est; celles-ci pénètrent dans la partie nord du lac le long de la côte ouest et s'y mélangent progressivement aux eaux de cette zone. Le phytoplancton, assez dense et dominé par les Chlorophytes (*Oocystis* sp., *Scenedesmus quadricauda*, *Glosterium aciculare*) dans les eaux libres, s'enrichit dans l'archipel nord (stations 10, 11, 12 et 13) où les Cyanophytes (*Microcystis delicatissima*, *Anabaenopsis tanganyikae*) et les Pyrrophytes (*Cryptomonas*, *Chroomonas*) entrent en concurrence avec les Chlorophytes, les Diatomées ayant disparu. Les eaux de l'extrême nord du lac sont constituées par les eaux de la cuvette nord refoulées par la crue; elles sont colonisées par un dense phytoplancton à Cyanophytes, du moins en ce qui concerne la partie orientale (stations 14 à 17). Dans la partie moyenne de l'archipel (stations 18 à 22), la densité algale est sensiblement du même ordre que celle existant dans l'archipel nord; les Chlorophytes y sont dominantes.

En janvier 1972, la distribution des points de prélèvement est plus complète (prélèvements plus abondants dans les eaux libres du sud et du sud-est et dans l'extrême nord du lac). Dans la cuvette sud, les eaux de crue pauvres en plancton, poussées vers l'ouest par l'harmattan, ont envahi les eaux libres du sud et du sud-est (stations 1 à 9), la station 1 située dans un biotope pérideltaïque (GARMOUZE *et al.* 1972) apparaissant la plus riche.

Dans l'archipel, le schéma de répartition du plancton apparaît différent :

A l'inverse de ce qui existait à la même époque en 1971, tout l'archipel est occupé par un phytoplancton très abondant, non seulement à l'est de Bol (stations 33, 34 et 35) mais jusqu'en bordure des eaux libres (stations 36, 37, 38 et 39); les Cyanophytes, avec l'espèce *Anabaena flos-aquae* sont le plus souvent largement dominantes sauf aux stations 29, 32, 33 et 35 où un fort développement à *Nitzschia spiculum* fait que les Diatomées dominent à ces stations. Le point 30 présente le peuplement algal des extrémités de bras de l'archipel (GARMOUZE *et al.*, *ibid.*) avec une densité phytoplanctonique faible et dominance des petites Cyanophycées (*Lyngbya limnetica*, *Microcystis delicatissima*, *Anabaenopsis tanganyikae*, *Anabaena spiroides*, etc.).

On peut supposer que, en 1972, le lac ayant un niveau moyen d'environ 30 à 40 cm plus bas que l'année précédente, les eaux de crue ont été davantage freinées au niveau de la frange d'îlots-bancs qui borde au nord les eaux libres du sud-est. L'envahissement de l'archipel a été moins important, plus lent et a permis une colonisation rapide par le phytoplancton. La poussée des eaux de crue favorisée par l'harmattan a progressé davantage vers l'ouest qu'en 1971 et s'étend jusqu'aux stations 10 et 28 où le plancton est encore très pauvre.

Dans la cuvette nord, la distribution du plancton est approximativement identique à celle observée en 1971, mise à part l'extrême pauvreté de la partie sud (stations 10 et 28). Un peuplement algal assez riche à Chlorophycées, Diatomées et Cyanophycées occupe les eaux libres (stations 11 à 14) puis les Diatomées disparaissent remplacées par des Pyrrophytes (stations 15 et 16). Tout au nord, la densité phytoplanctonique est élevée (stations 17, 19, 20, 21, 22 et 23) avec dominance des Cyanophytes (*Microcystis*, *Oscillatoria*, *Anabaenopsis*) tandis que les Chlorophytes (*Oocystis Coelastrum*, *Scenedesmus*, *Pediastrum*) dominent dans la zone orientale de la partie nord (stations 24 à 27).

4. STRUCTURE DES PEUPLEMENTS

Les indices de diversité des peuplements ont été calculés d'après la formule de Shannon à partir du biovolume des espèces présentes tandis que l'équitabilité était évaluée par la valeur exprimée en pourcentage du rapport diversité observée sur diversité maximale. On s'est limité pour le calcul de ces valeurs aux espèces représentant au moins 0,07 % de la biomasse totale présente dans l'échantillon (tabl. III).

L'indice de diversité varie entre 0,611 et 4,186 en 1971 et 0,528 et 3,441 en 1972; les valeurs les plus fortes existent dans les eaux libres du nord (station 7) pour la première année, à l'est des eaux libres face au delta du Chari pour la seconde (station 4). Les valeurs les plus faibles existent le plus souvent dans les eaux libres proches du delta. La diversité est en moyenne plus élevée en février 1971 qu'en janvier 1972.

L'équitabilité varie entre 26 et 95 % d'un côté et 19 et 90 de l'autre; la moyenne pour 1972 est là aussi la plus faible.

Sur un graphique (fig. 3), on a reporté les valeurs de la diversité et de l'équitabilité en relation avec les zones écologiques où les prélèvements ont été faits. En février 1971, la diversité est faible dans les eaux libres du sud, sauf à la station 1 (zone

TABLEAU III

N° de l'échan- tillon	1971		1972	
	Diversité	Équita- bilité	Diversité	Équita- bilité
1.....	2,426	73 %	0,705	22 %
2.....	0,611	26 %	0,528	20 %
3.....	0,723	36 %	1,600	48 %
4.....	1,393	70 %	3,441	90 %
5.....	2,465	95 %	0,597	23 %
6.....	2,529	52 %	1,459	63 %
7.....	4,186	89 %	2,657	77 %
8.....	3,923	77 %	2,667	80 %
9.....	3,797	83 %	2,325	73 %
10.....	3,622	75 %	2,802	84 %
11.....	2,838	77 %	2,487	56 %
12.....	3,313	83 %	3,306	79 %
13.....	3,085	74 %	3,362	84 %
14.....	1,629	54 %	3,255	77 %
15.....	1,826	53 %	2,979	76 %
16.....	1,904	60 %	2,970	76 %
17.....	2,209	64 %	2,470	65 %
18.....	2,927	77 %	3,234	81 %
19.....	2,778	75 %	2,804	69 %
20.....	2,804	65 %	2,225	67 %
21.....	3,273	71 %	1,997	71 %
22.....	3,203	77 %	2,234	65 %
23.....	3,373	77 %	2,196	73 %
24.....	2,829	76 %	2,540	64 %
25.....	3,155	88 %	2,202	61 %
26.....	2,922	79 %	2,482	69 %
27.....	3,069	77 %	2,562	64 %
28.....	3,112	76 %	2,848	86 %
29.....	2,519	76 %	1,693	47 %
30.....	3,378	78 %	3,136	78 %
31.....	2,588	70 %	0,654	19 %
32.....	3,410	87 %	2,125	56 %
33.....	3,444	84 %	1,972	49 %
34.....	2,632	76 %	2,379	62 %
35.....	2,426	73 %	1,139	34 %
36.....			1,272	35 %
37.....			0,794	24 %
38.....			1,078	32 %
39.....			1,385	39 %
40.....			1,069	31 %
Moyenne..	2,752	72 %	2,141	59 %

pérideltaïque), puis s'accroît dans les eaux libres du nord où elle atteint le maximum, elle décroît ensuite très nettement dans le nord du lac, surtout aux stations les plus septentrionales (14 à 17) où la biomasse algale est seulement composée de quelques espèces de Cyanophycées. Dans l'archipel, les valeurs de la diversité restent relativement élevées aussi bien dans le nord (station 18 à 21) que dans l'est (23 à 35), les stations les plus orientales ayant en général des indices de diversité un peu plus faibles. Les

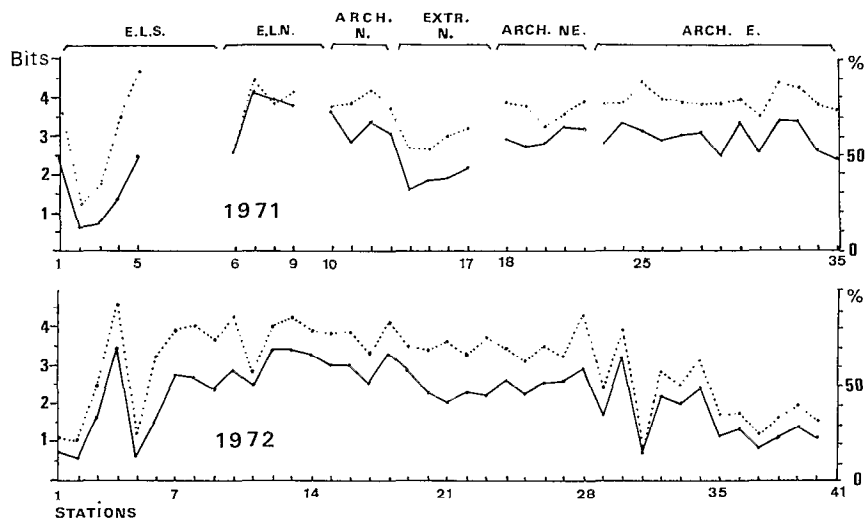


Fig. 3. — Variations des valeurs de l'indice de diversité spécifique (en trait plein) et de l'équitabilité (en pointillé). (ELS : eaux libres du sud ; ELN : eaux libres du nord ; ARCH.N : archipel nord ; EXTR.N : extrême nord, etc.).

variations de l'équitabilité suivent sensiblement celles de la diversité et la corrélation entre les deux est élevée ($r = 0,80$).

En janvier 1972, le profil selon les zones écologiques est à peu près identique à celui de février 1971. La diversité est faible dans les eaux libres du sud sauf au point 4, le plus à l'est, dont le peuplement phytoplanctonique a des affinités (assez fort pourcentage de Cyanophycées) avec celui des stations voisines 38 et 39. Les valeurs maximales sont obtenues dans les eaux libres du nord (stations 12 et 13) et dans l'archipel directement au nord de celles-ci (station 18) puis on observe des valeurs plus faibles dans l'extrême nord du lac (stations 20 à 23).

Dans l'archipel, la diversité est assez élevée dans la zone nord-est du lac (stations 24 à 28) mais très variable dans la zone est, tous les peuplements assez proches des eaux libres (35 à 40) ayant des diversités en général plus faibles que ceux existant en bordure du lac (29, 30, 32, 33, 34). Comme en 1971, l'équitabilité suit les variations de la diversité (coefficient de corrélation entre ces deux séries de valeurs égal à 0,95) et apporte peu d'information supplémentaire.

On peut distinguer plusieurs stades successifs dans le phytoplancton de l'onde de crue qui se déplace en partant du delta en direction du nord-ouest où les zones d'eaux libres sont les plus étendues : c'est d'abord dans les eaux libres du sud, un stade à Diatomées abondantes, à densité algale et à diversité spécifique faibles. Vient ensuite un deuxième stade à densité phytoplanctonique moyenne, à diversité maximale tandis que les Diatomées sont en pourcen-

tage décroissant, c'est le peuplement des eaux libres du nord. Le troisième stade qui est celui du phytoplancton de la zone d'ilots bancs au nord de la zone précédente est caractérisé par une densité croissante, une diversité décroissante tandis que le peuplement à Diatomées a presque entièrement disparu, remplacé par des Cryptophycées. On peut enfin définir un quatrième stade dans la bordure nord du lac où l'on rencontre des peuplements à densité maximale, à diversité faible où les Cyanophytes sont fortement dominantes. Il apparaît difficile de considérer ces stades comme des éléments des cycles qui se succèdent au cours du développement du phytoplancton tels que MARGALEF (1958-1967) a pu le mettre en évidence sur des peuplements marins; la présence d'eaux résiduelles qui se mêlent plus ou moins aux eaux de crue au cours de leur avancée dans la cuvette nord, l'hétérogénéité des zones ou des biotopes existant, l'accroissement de la teneur en sel dissous à mesure que l'on s'éloigne du delta font que l'évolution du phytoplancton est influencée par de nombreux facteurs locaux. Ceux-ci perturbent la succession des cycles de développement qui existerait normalement dans une masse d'eau soumise dans toute son étendue à des facteurs de milieu relativement homogènes.

Pour permettre une description plus complète des taxicénoses algales existantes, la distribution d'abondance des espèces présentes a été étudiée à chaque station. En partant du volume de chacune des espèces inventoriées représentant au moins 0,07 % du biovolume total, on a porté en abscisse les rangs des espèces en allant de la plus abondante à la plus

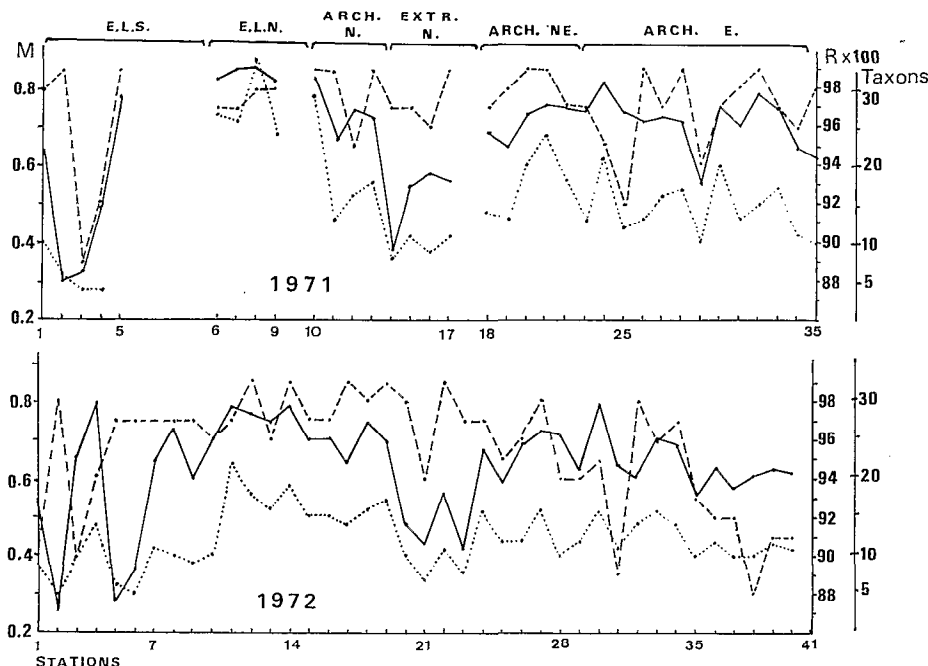


Fig. 4. — Variations des valeurs du coefficient de corrélation r entre le logarithme des biomasses des espèces classées par ordre décroissant et leur rang de classement (en tireté), des valeurs de la constante de milieu m (en trait plein) et du nombre d'espèces intervenant dans la biomasse au-dessus de 0,07 % du biovolume global (en pointillé). Les abréviations utilisées sont identiques à celles de la figure précédente.

rare et en ordonnées le logarithme de la biomasse de chacune. Les points apparaissent approximativement alignés et le modèle log-linéaire de Motomura (MOTOMURA 1932, INAGAKI 1967) apparaît dans la grande majorité des cas comme le modèle qui peut être avec le plus de précision ajusté à ces données. La droite de régression entre le logarithme des biomasses estimées et leur rang de classement a été calculée pour chacun des prélèvements. Les résultats sont consignés dans le tableau IV où r est le coefficient de corrélation entre le logarithme des biomasses et leur rang de classement et m la constante de Motomura, ou constante de milieu, dont la valeur est égale à l'antilogarithme de la pente de la droite de régression : enfin le nombre de taxons composant la taxicénose (au-dessus de 0,07 % du biovolume total) est indiqué (fig. 4 et tabl. IV).

En février 1971, la loi de Motomura selon laquelle les biomasses dans une biocénose tendent à se distribuer suivant une loi géométrique se trouve (d'après les seuils proposés par INAGAKI et LENOIR, 1974) bien vérifiée dans 17 prélèvements sur 35 et assez bien vérifiée dans 14 cas; l'ajustement peut être considéré comme mauvais dans 4 cas seulement. En janvier 1972, la loi de Motomura se trouve bien vérifiée dans 10 cas sur 40 et assez bien dans 17 autres

prélèvements; l'ajustement de la distribution spécifique à cette loi est mauvais dans 13 cas sur 40. On peut donc estimer que l'ajustement des distributions est satisfaisant, surtout en 1971, d'autant plus que l'utilisation des biovolumes de préférence aux effectifs entraîne une source d'erreurs supplémentaires tant dans l'appréciation du volume moyen de chaque organisme que dans l'estimation du volume cytoplasmique utile de certaines algues, dans le cas des Diatomées et des Péridiniens notamment.

Les valeurs de la constante de Motomura, ou constante de milieu, suivent logiquement les variations de l'indice de diversité (fig. 4), avec des valeurs fortes dans les eaux libres du nord et dans l'archipel est; les valeurs minimales existent dans les eaux libres du sud dans l'extrême nord et dans certains points de l'archipel est. La constante de milieu est liée au nombre d'espèces présentes et le coefficient de corrélation entre ces deux séries de valeurs est de 0,78 pour février 1971 et 0,82 pour janvier 1972. Les parties sud et est du lac montrent en général des peuplements phytoplanctoniques plus pauvres en espèces que dans la partie nord, tout au moins durant la période considérée; la moyenne pour 1971 et 1972 est de 12,1 et 10,8 taxons pour les parties

TABLEAU IV

N° de l'échantillon	Février 1971			Janvier 1972		
	r	m	taxons	r	m	taxons
1.....	-0,98	0,644	10	-0,90	0,546	9
2.....	-0,99	0,308	6	-0,98	0,256	5
3.....	-0,89	0,332	4	-0,90	0,653	10
4.....	-0,92	0,495	4	-0,94	0,794	14
5.....	-0,99	0,782	6	-0,97	0,282	6
6.....	-0,97	0,832	27	-0,97	0,365	5
7.....	-0,97	0,859	26	-0,97	0,641	11
8.....	-0,98	0,861	34	-0,97	0,728	10
9.....	-0,98	0,815	24	-0,97	0,601	9
10.....	-0,99	0,834	29	-0,96	0,692	10
11.....	-0,99	0,670	13	-0,97	0,787	22
12.....	-0,95	0,743	16	-0,99	0,764	18
13.....	-0,99	0,724	18	-0,96	0,746	16
14.....	-0,97	0,378	8	-0,99	0,789	19
15.....	-0,97	0,551	11	-0,97	0,700	15
16.....	-0,96	0,578	9	-0,97	0,706	15
17.....	-0,99	0,560	11	-0,99	0,641	14
18.....	-0,97	0,689	14	-0,98	0,750	16
19.....	-0,98	0,653	13	-0,99	0,700	17
20.....	-0,99	0,731	20	-0,98	0,481	10
21.....	-0,99	0,760	24	-0,94	0,433	7
22.....	-0,97	0,750	18	-0,99	0,565	11
23.....	-0,95	0,813	21	-0,97	0,416	8
24.....	-0,97	0,746	13	-0,97	0,678	16
25.....	-0,92	0,735	12	-0,95	0,593	12
26.....	-0,99	0,710	13	-0,96	0,690	12
27.....	-0,97	0,724	16	-0,98	0,726	16
28.....	-0,99	0,713	17	-0,94	0,709	10
29.....	-0,94	0,555	10	-0,94	0,621	12
30.....	-0,97	0,759	20	-0,95	0,792	16
31.....	-0,98	0,706	13	-0,89	0,631	11
32.....	-0,99	0,787	15	-0,98	0,607	14
33.....	-0,97	0,762	17	-0,96	0,705	16
34.....	-0,96	0,646	11	-0,97	0,684	14
35.....	-0,98	0,627	10	-0,93	0,562	10
36.....				-0,92	0,632	12
37.....				-0,92	0,579	10
38.....				-0,88	0,610	10
39.....				-0,91	0,628	12
40.....				-0,91	0,618	11
Moyenne....	-0,970	0,681	15,2	-0,954	0,628	12,3

du lac situées au sud et à l'est de la grande barrière et de 18,5 et 13,9 pour la cuvette nord.

Bien que les valeurs moyennes du coefficient de corrélation, de la constante de milieu et du nombre d'espèces en février 1971 et janvier 1972 ne soient pas rigoureusement comparables du fait que les stations de prélèvements ne sont pas exactement identiques dans les deux séries de récoltes, on peut remarquer en 1972 par rapport à 1971 un moins bon ajustement de la distribution spécifique à la loi de

Motomura, une diminution de la valeur de la constante de milieu et du nombre de taxons composant la biomasse algale.

5. GROUPEMENTS ET AFFINITÉS ENTRE LES STATIONS ÉTUDIÉES

Dans une étude précédente définissant les grandes zones écologiques existant au lac Tchad (CARMOUZE *et al.* 1972), celui-ci avait été divisé au point de vue phytoplanktonique en deux grandes régions : la cuvette nord et la cuvette sud séparées par les hauts fonds situés sur un axe Baga Kawa-Baga Sola, chacune de ces régions étant elle-même subdivisée en une zone d'eaux libres et une zone d'archipel composée d'îles sableuses et d'îlots végétaux. Plusieurs biotopes particuliers avaient de plus été définis.

A partir de l'analyse spécifique des prélèvements réalisés en février 1971 et en janvier 1972, on a tenté de regrouper les stations et d'apprécier les affinités entre les différents milieux prospectés. Dans ce but, les coefficients de corrélation de rang de Spearman ont été calculés entre tous les relevés effectués à la même époque à partir des 48 taxons pris en considération; ce coefficient étant choisi en raison de la présence d'ex-aequo dans les relevés. On a ainsi obtenu des matrices de corrélation qui ont été interprétées sous forme de dendrogrammes permettant de visualiser les affinités entre les relevés.

A. Février 1971.

On a obtenu une matrice de corrélation de 35 sur 35 où les valeurs les plus fortes atteignent 0,953. Pour l'exploitation, on a tout d'abord traité séparément les relevés des deux cuvettes qui constituent le lac Tchad. Dans la cuvette sud (fig. 5), les cinq

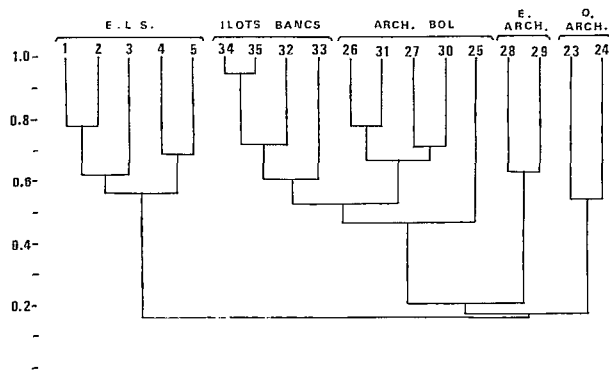


Fig. 5. — Dendrogramme d'interprétation de la matrice de corrélation de Spearman entre les relevés de la cuvette sud du lac en février 1971.

relevés des eaux libres (point 1 à 5) sont nettement distincts des autres prélèvements faits dans l'archipel. A l'intérieur du groupe, les liaisons se font à un niveau assez élevé, les stations 4 et 5, les plus à l'ouest, apparaissent légèrement à l'écart des trois autres. Dans l'archipel, les relevés de la frange d'ilots bancs à proximité des eaux libres apparaissent très liés (32, 33 et surtout 34, 35) tandis qu'un deuxième groupe (26, 27, 30, 31) comprend les relevés du centre de l'archipel (région de Bol), la station 25 étant rattachée à l'ensemble de ces deux groupes. Les relevés de l'est (28 et 29) bien reliés entre eux ainsi que ceux de l'ouest (23 et 24) ne sont rattachés à l'ensemble de l'archipel qu'à un niveau assez bas.

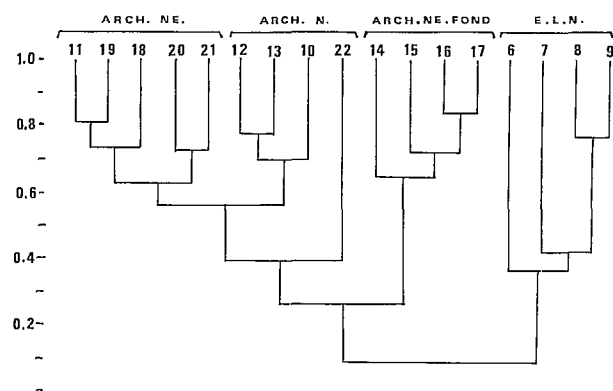


Fig. 6. — Dendrogramme d'interprétation de la matrice de corrélation de Spearman entre les relevés de la cuvette nord du lac en février 1971.

Dans la cuvette nord (fig. 6), les quatre prélèvements relativement peu homogènes des eaux libres sont distincts de ceux du reste de la partie nord. Dans l'archipel, les 4 stations de l'extrême nord-est du lac (14 à 17), très homogènes, se séparent des autres stations. Un troisième ensemble regroupe les récoltes faites au nord (10 à 13) et à l'est (18 à 21) des eaux libres. Le relevé de la station 22, récolté à proximité de la limite des deux cuvettes lacustres est relié à ce groupe à un niveau relativement peu élevé.

Si l'on analyse maintenant l'ensemble des coefficients calculés pour tout le lac, le dendrogramme obtenu (fig. 7) laisse apparaître un schéma des groupements en gros identique à celui obtenu lors de l'analyse des relevés de chacune des deux parties du lac prises séparément : on distingue les groupements des eaux libres nord-est et sud reliés chacun à un niveau très bas aux groupements de l'archipel correspondant; toutefois un groupe associé aux

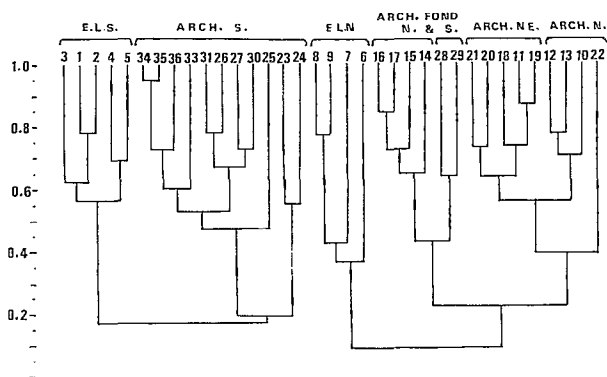


Fig. 7. — Dendrogramme d'interprétation de la matrice de corrélation de Spearman entre les relevés effectués sur l'ensemble du lac en février 1971.

relevés de l'archipel nord apparaît ici bien individualisé, il comprend les relevés 14, 15, 16 17 et 28, 29, soit les récoltes à Cyanophycées dominantes faites dans les extrémités de l'archipel les plus éloignées du delta, que ce soit au nord ou à l'est du lac.

Il apparaît donc que, si la cuvette nord et la cuvette sud peuvent être considérées comme deux ensembles distincts, il existe des affinités certaines entre les peuplements d'algues des anses de l'archipel non concernées ou très indirectement influencées par la circulation des eaux fluviales quelle que soit leur situation géographique dans le lac.

B. Janvier 1972.

La matrice de corrélation 40 sur 40 obtenue laisse apparaître des coefficients atteignant des valeurs maximales de 0,919. Dans la partie sud du lac (fig. 8), les relevés effectués pour les eaux libres apparaissent comme en février 1971 nettement

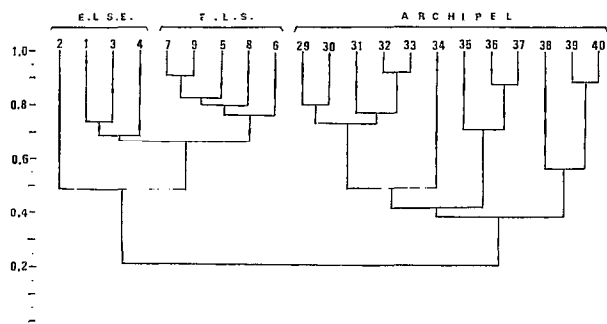


Fig. 8. — Dendrogramme d'interprétation de la matrice de corrélation de Spearman entre les relevés de la cuvette sud du lac en janvier 1972.

séparés de ceux de l'archipel, les prélèvements des eaux libres du sud-est (1 à 4) et ceux du sud (5 à 9) étant légèrement séparés, ces derniers étant par ailleurs plus homogènes. Dans l'archipel, on ne retrouve pas une zonation identique à celle existant en février 1971, mais trois groupes de relevés organisés de façon concentrique par rapport au delta; le premier comprend les trois prélèvements les plus proches des eaux libres du sud-est (38, 39 et 40), le second les relevés 35, 36 et 37 et le troisième les stations les plus proches du bord septentrional du lac (29 à 34), les liaisons à l'intérieur de ces groupes sont assez fortes, le plus souvent supérieures à 0,7 sauf pour la station 34 qui présente les caractéristiques particulières des peuplements de l'archipel les plus éloignés des eaux libres.

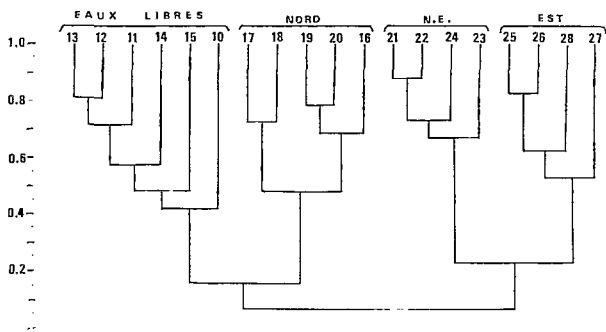


Fig. 9. — Dendrogramme d'interprétation de la matrice de corrélation de Spearman entre les relevés de la cuvette nord du lac en janvier 1972.

Dans la partie nord du lac (fig. 9), on observe une répartition identique au schéma figuré au cours de la définition des grandes zones écologiques du lac (CARMOUZE *et al.*, *ibid.*); un premier groupe de relevés englobe les stations des eaux libres du nord (10 à 15), de la zone d'îlots-bancs situés directement au nord (16 à 18) et ceux de la bordure nigérienne du lac (19 à 20); les corrélations à l'intérieur de ce groupe sont dans l'ensemble assez élevées et supérieures à 0,48 mais les peuplements des eaux libres du nord apparaissent nettement séparés des autres. Le deuxième groupe comprend les relevés effectués dans l'archipel, il est lui-même scindé en deux ensembles homogènes, les relevés du nord-est du lac (21 à 24) et les relevés de la région située à l'est des eaux libres du nord (25 à 28); la liaison entre ces deux ensembles est assez faible (0,23).

L'analyse de l'ensemble des corrélations calculées pour le lac en janvier 1972 (fig. 10) met en évidence deux grands groupes : les zones d'eaux libres d'un côté et les archipels de l'autre, les corrélations entre les peuplements de la cuvette nord ou ceux de la

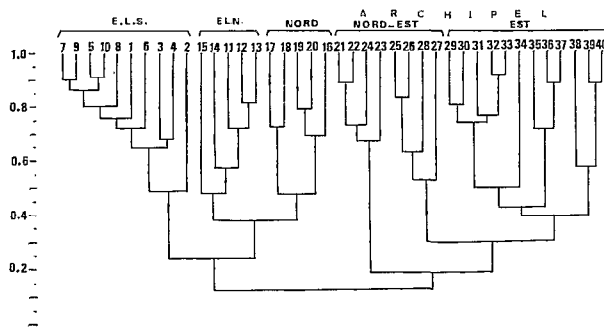


Fig. 10. — Dendrogramme d'interprétation de la matrice de corrélation de Spearman entre les relevés effectués sur l'ensemble du lac en janvier 1972.

cuvette sud entre eux étant moins élevées que les corrélations entre les peuplements des deux zones d'eaux libres ou celles existant entre les deux archipels. Le premier ensemble comprend donc les relevés des eaux libres du sud et du sud-est, bien reliées entre elles, associées au niveau de corrélation 0,248 au groupe des eaux libres du nord et de la partie située entre celles-ci et la rive nord du lac (îlots bancs, petite zone d'eaux libres et bordure végétale de la région de Nguigmi). Le deuxième ensemble comprend tous les prélèvements de l'archipel et se subdivise au niveau 0,297 en deux groupes : les stations de la partie nord et celles de la cuvette sud. Les corrélations entre les relevés à l'intérieur de ces groupes sont identiques à celles observées en analysant les corrélations existant entre les peuplements des parties nord et sud du lac prises séparément.

6. GROUPEMENTS ET AFFINITÉS INTER-SPÉCIFIQUES.

Après avoir défini au moyen des coefficients de corrélation de Spearman les liaisons existant entre les différents relevés effectués, la composition des associations spécifiques existant dans les différents biotopes ou les différentes zones a été étudiée et l'analyse factorielle des correspondances a été utilisée pour compléter les connaissances empiriques acquises au cours des numérations au microscope inversé. Cette méthode a déjà été utilisée pour l'étude des peuplements de mollusques (LÉVÊQUE et GABORIT 1972), de poissons (DURAND, 1973), et d'algues (ILTIS et ROUX, 1974) de la région du lac Tchad; on pourra consulter LÉVÊQUE et GABORIT (*ibid.*) et BINET *et al.* (1972) pour un exposé détaillé de celle-ci; son principal avantage est, après comparaison des profils spécifiques, l'inscription sur un même gra-

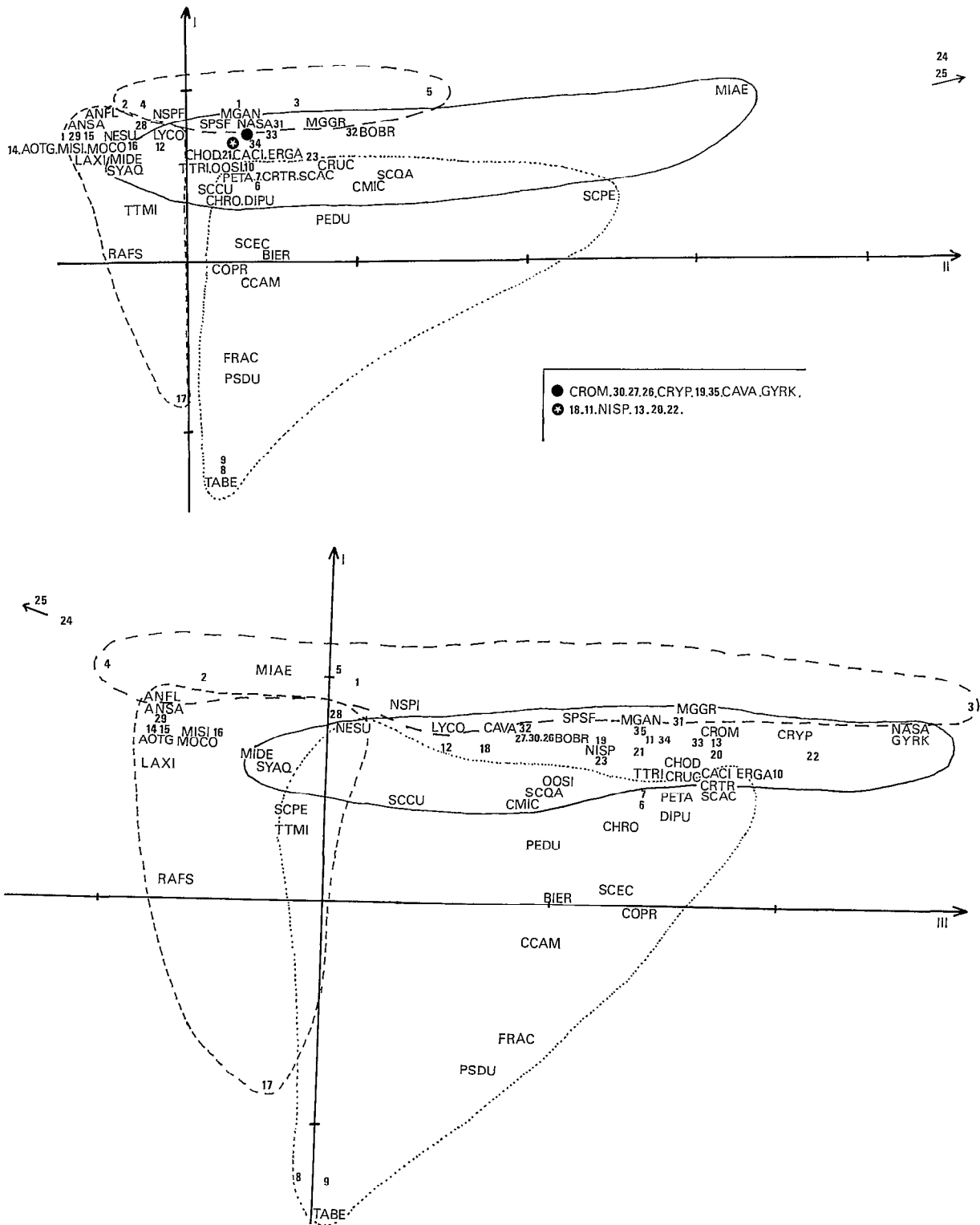


Fig. 11. --- Position dans le plan des axes 1 et 2 (en haut) et 1 et 3 (en bas) des relevés et des espèces présentes dans le lac en février 1971. On se reportera au code ci-joint pour la signification des abréviations taxinomiques utilisées. Le trait en tirets longs délimite les groupements des eaux libres du sud et du sud-est, le trait plein ceux de l'archipel et le trait en tirets courts ceux des extrémités nord-est et est de l'archipel.

phique des relevés et des espèces rendant compte des relations réciproques existant entre les relevés et leurs composants spécifiques. De plus, la représentation de la position des relevés en même temps que celle des taxons sur le graphique obtenu en fin de calculs permet de mieux évaluer les affinités entre les relevés, la méthode des dendrogrammes utilisés dans le paragraphe précédent ayant le défaut de masquer certaines ressemblances entre les récoltes peut-être aussi intéressantes que celles mises en évidence.

Les groupements d'espèces et de récoltes ont été ici recherchés sur le plan des axes 1 et 2 puis 1 et 3, les trois premiers axes étant en général les plus chargés d'informations.

A. Février 1971.

Les relevés et les taxons apparaissent groupés de part et d'autre de l'axe 1 et de plus étirés le long des axes 2 et 3. Les trois premiers axes expliquent respectivement 20, 18 et 15 % de l'inertie globale des relevés, soit 53 % pour le total des trois tandis que l'ensemble pour les cinq premiers axes s'élève à 71 %. D'après nos observations et la place des taxons sur le graphique (fig. 11), on peut distinguer quatre groupes qui se recouvrent au niveau des espèces communes :

— Le groupe des eaux libres du sud et du sud-est (relevés 1 à 5) caractérisé par les Diatomées, *Melosira granulata*, *Melosira granulata* var. *angustissima*, *Nitzschia spiculum*, *Navicula* sp. et les Cyanophycées *Anabaena flos-aquae* et *Lyngbya contorta*.

— Le groupe des eaux libres du nord avec les stations 6 à 9 caractérisées par les taxons suivants : *Oocystis* sp., *Scenedesmus quadricauda*, *Pediastrum duplex*, *Pediastrum clathratum*, *Synedra berolinensis*, *Fragilaria construens*, *Coelastrum cambricum*, *Binuclearia eriensis*, *Scenedesmus acutus*, *Scenedesmus acuminatus*, *Coelastrum microporum*, *Crucigenia triangularis*, *Dictyophaerium pulchellum*, *Pediastrum letras*, *Closterium aciculare*, *Coelastrum proboscideum*, *Scenedesmus perforatus*, *Lyngbya contorta*.

— Le groupe de l'archipel nord et sud-est qui englobe les espèces suivantes : *Microcystis delicatissima*, *Synechocystis aquatilis*, *Anabaena flos aquae*, *Cryptomonas* sp., *Closterium acutum* var. *variabile*, *Nitzschia* sp., *Chroomonas* sp., *Botryococcus braunii*, *Chodatella* sp., *Eremosphaera gigas*, *Scenedesmus quadricauda*, *Oocystis* sp., *Closterium aciculare*, *Gyrosigma kutzingii*, *Surirella muelleri* et *Nitzschia spiculum*.

Dans ce groupe figurent les relevés faits dans les îlots bancs au nord du lac (10 à 13), dans l'archipel à l'est des eaux libres du nord (18 à 22) et dans l'archipel sud-est (23 à 35 sauf 28 et 29).

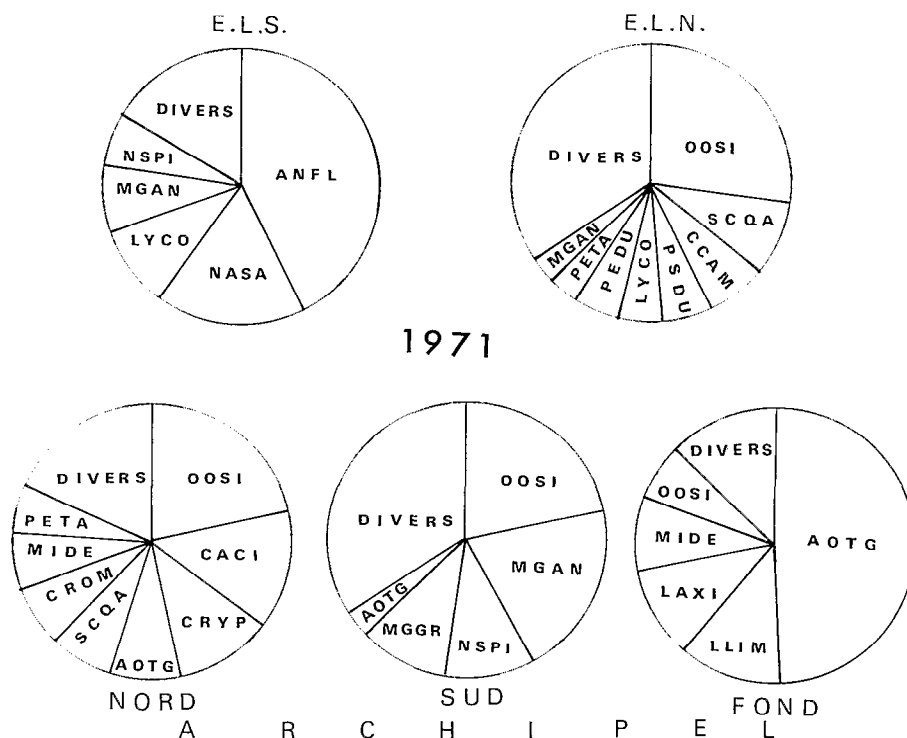


Fig. 12. — Composition relative des peuplements types existant dans le lac en février 1971. Les abréviations taxinomiques utilisées sont identiques à celles de la figure 11 (voir code ci-joint).

— Le groupe des extrémités de l'archipel enfin avec les espèces suivantes : *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena* sp., *Anabaenopsis tangaikae*, *Monoraphidium contortum*, plusieurs *Microcystis* dont *M. delicatissima*, *Raphidiopsis* sp., *Oscillatoria laxissima*, *Lyngbya limnetica*, *Synechocystis minuscula*, *Tetradron minimum*, *Nephrochlamys subsolitaria*; il regroupe logiquement les relevés 14 à 17 et 28 et 29.

À partir de ces données et des biovolumes spécifiques calculés, on a établi pour chacun de ces groupes un peuplement type susceptible de rendre compte schématiquement de la composition spécifique de la biomasse dans les différentes zones écologiques; on a donc calculé dans chaque zone le pourcentage moyen de chacune des espèces les mieux représentées dans les échantillons et après addition de ces pourcentages moyens on a établi la composition des peuplements existants (fig. 12). On a ainsi obtenu pour les eaux libres du sud et du sud-est un peuplement type composé au point de vue biovolume de :

43 %	d' <i>Anabaena flos-aquae</i>	(Diatomées)
18 %	de <i>Navicula</i> sp.....	(Diatomées)
9 %	de <i>Lyngbya contorta</i>	(Cyanophycées)
8 %	de <i>Melosira granulata</i> var. <i>angustissima</i> ..	(Diatomées)
6 %	de <i>Nitzschia spiculum</i>	(Diatomées)
16 %	de divers.	

Pour les eaux libres du nord où les peuplements sont très diversifiés, la biomasse algale est constituée de :

28 %	d' <i>Oocystis</i> sp.....	(Chlorophycées)
8 %	de <i>Scenedesmus quadricauda</i>	(Chlorophycées)
7 %	de <i>Coelastrum cambricum</i>	(Chlorophycées)
6 %	de <i>Pediastrum clathratum</i>	(Chlorophycées)
6 %	de <i>Lyngbya contorta</i>	(Cyanophycées)
5 %	de <i>Pediastrum duplex</i>	(Chlorophycées)
4 %	de <i>Pediastrum tetras</i>	(Chlorophycées)
3 %	de <i>Melosira granulata</i> var. <i>angustissima</i> ..	(Diatomées)
33 %	de divers; ce dernier pourcentage élevé étant dû au nombre en général important d'espèces composant la biomasse.	

Dans l'archipel, on a distingué deux groupes selon qu'il s'agit des îlots-bancs et l'archipel de la cuvette nord ou l'archipel de la cuvette sud; on peut ainsi schématiser la composition du phytoplancton de l'archipel de la partie nord :

23 %	d' <i>Oocystis</i> sp.....	(Chlorophycées)
14 %	de <i>Closterium aciculare</i>	(Chlorophycées)
12 %	de <i>Cryptomonas erosa</i>	(Cryptophycées)
8 %	d' <i>Anabaenopsis tangaikae</i>	(Cyanophycées)
7 %	de <i>Scenedesmus quadricauda</i>	(Chlorophycées)
7 %	de <i>Chroomonas</i> sp.....	(Cryptophycées)
7 %	de <i>Microcystis delicatissima</i>	(Cyanophycées)
5 %	de <i>Pediastrum tetras</i>	(Chlorophycées)
17 %	de divers.	

et pour la partie sud :

22 %	d' <i>Oocystis</i> sp.....	(Chlorophycées)
21 %	de <i>Melosira granulata</i> var. <i>angustissima</i> ..	(Diatomées)
11 %	de <i>Nitzschia spiculum</i>	(Diatomées)
10 %	de <i>Melosira granulata</i>	(Diatomées)
2 %	d' <i>Anabaenopsis tangaikae</i>	(Cyanophycées)
34 %	de divers.	

Dans les extrémités de l'archipel, la biomasse se répartit schématiquement de la façon suivante :

49 %	d' <i>Anabaenopsis tangaikae</i>	(Cyanophycées)
12 %	de <i>Lyngbya limnetica</i>	(Cyanophycées)
11 %	d' <i>Oscillatoria laxissima</i>	(Cyanophycées)
8 %	de <i>Microcystis delicatissima</i>	(Cyanophycées)
6 %	d' <i>Oocystis</i> sp.....	(Chlorophycées)
14 %	de divers	

B. Janvier 1972.

Les relevés et les taxons se répartissent de part et d'autre des axes 1, 2 et 3. Ceux-ci s'expliquent respectivement 23, 17 et 16 % de l'inertie globale des relevés, soit au total 56 % tandis que l'ensemble pour les cinq premiers axes s'élève à 74 %. Sur la représentation des axes 1 et 2, les différentes zones du lac apparaissent bien individualisées (fig. 13) et l'on peut distinguer 5 grandes zones :

— Les eaux libres du sud et de l'est avec les relevés 1 à 10 et 28, les prélèvements faits au niveau de la ligne de séparation entre cuvette nord et cuvette sud (n° 10 et 28) se rattachant aux eaux libres du sud. Les espèces suivantes constituent la biocénose algale : *Melosira granulata* forme typique et variété *angustissima*, *Gyrosigma kutzingii*, *Surirella muelleri*, *Navicula* sp., *Scenedesmus aculeus*, *Glosterium acutum* var. *variabile*, *Lyngbya contorta* et *Anabaena flos-aquae*. *Lyngbya limnetica* est relativement abondant dans les récoltes.

— Les eaux libres du nord (stations 11 à 14) englobent quelques Diatomées planctoniques : *Synedra berolinensis*, *Fragilaria construens* et surtout des Chlorophycées : *Scenedesmus quadricauda*, *Scenedesmus acuminatus*, *Coelastrum microporum*, *C. cambricum*, *C. proboscideum*, *Binuclearia eriensis*. On note aussi la présence en abondance de *Navicula* sp., *Oocystis* sp., *Lyngbya contorta* et *Chroococcus limneticus*.

— L'archipel de la partie sud-est du lac dont les prélèvements forment une zone allongée avec deux espèces dominantes constituant deux pôles : *Nitzschia spiculum* pour les stations 29, 32, 33 et 35 et *Anabaena flos-aquae* pour 31, 36, 37, 38, 39 et 40, ce dernier groupe ayant des affinités avec les peuplements des eaux libres du sud-est. On note dans l'ensemble des

peuplements la présence de plusieurs petites espèces de *Nitzschia*, de *Surirella muelleri*, d'*Anabaena spiroïdes* et d'*Anabaenopsis arnoldii*. Les stations 30 et 34 (anses terminales de l'archipel) montrent des affinités avec la zone suivante.

-- L'extrême nord et nord-est du lac avec les relevés 17 et 19 à 23. Le groupement spécifique qui y est rattaché comprend principalement des Cyanophycées : *Synechocystis minuscula*, *Microcystis delicatissima*, *M. aeruginosa*, *Oscillatoria laxissima*, *Anabaenopsis langanika*, *Anabaenopsis arnoldii*, *Lyngbya limnetica*, *Raphidiopsis* sp. et quelques Chlorophycées : *Nephrochlamys subsolitaria*, *Monoraphidium contortum* et *Tetraedron minimum*; de plus, *Oocystis* sp. est assez abondant dans ces récoltes.

— Les îlots bancs et l'archipel en bordure des eaux libres du nord que ce soit au nord de ces eaux libres (stations 15, 16 et 18) ou à l'est (stations 24 à 27). Les espèces suivantes, surtout des Chlorophytes, apparaissent associées au plus haut degré à ces milieux : *Oocystis* sp., *Crucigenia triangularis*, *Botryococcus braunii*, *Tetraedron trigonum*, *Tetraedron minimum*, *Scenedesmus perforatus*, *Chodatella* sp., *Pediastrum 17tras*, *Pediastrum duplex*, *Eremosphaera gigas*, *Coelastrum cambricum*, *Closterium aciculare*,

Chroomonas sp., *Microcystis delicatissima* et *Synechocystis minuscula*.

La représentation des axes 1 et 3 apporte peu d'informations supplémentaires; les cinq groupes définis ci-dessus apparaissent relativement bien individualisés. Le groupe 3 est plus étiré le long de l'axe horizontal que dans la représentation précédente, et les groupements à *Anabaena flos aquae* dominant et ceux à *Nitzschia spiculum* dominant apparaissent bien séparés.

Les peuplements types suivants (fig. 14) ont été définis pour les différents biotopes qui ont été individualisés; dans les eaux libres du sud et sud-est, on a ainsi :

31 % de *Navicula* sp. (Diatomées)
18 % de *Lyngbya limnetica* (Cyanophycées)
11 % d'*Anabaena flos-aquae* (Cyanophycées)
9 % de *Lyngbya contorta* (Cyanophycées)
7 % de *Melosira granulata* var. *angustissima*. (Diatomées)
24 % de divers.

et dans les eaux libres du nord :

24 % de *Navicula* sp. (Diatomées)
17 % de *Scenedesmus quadricauda* (Chlorophycées)

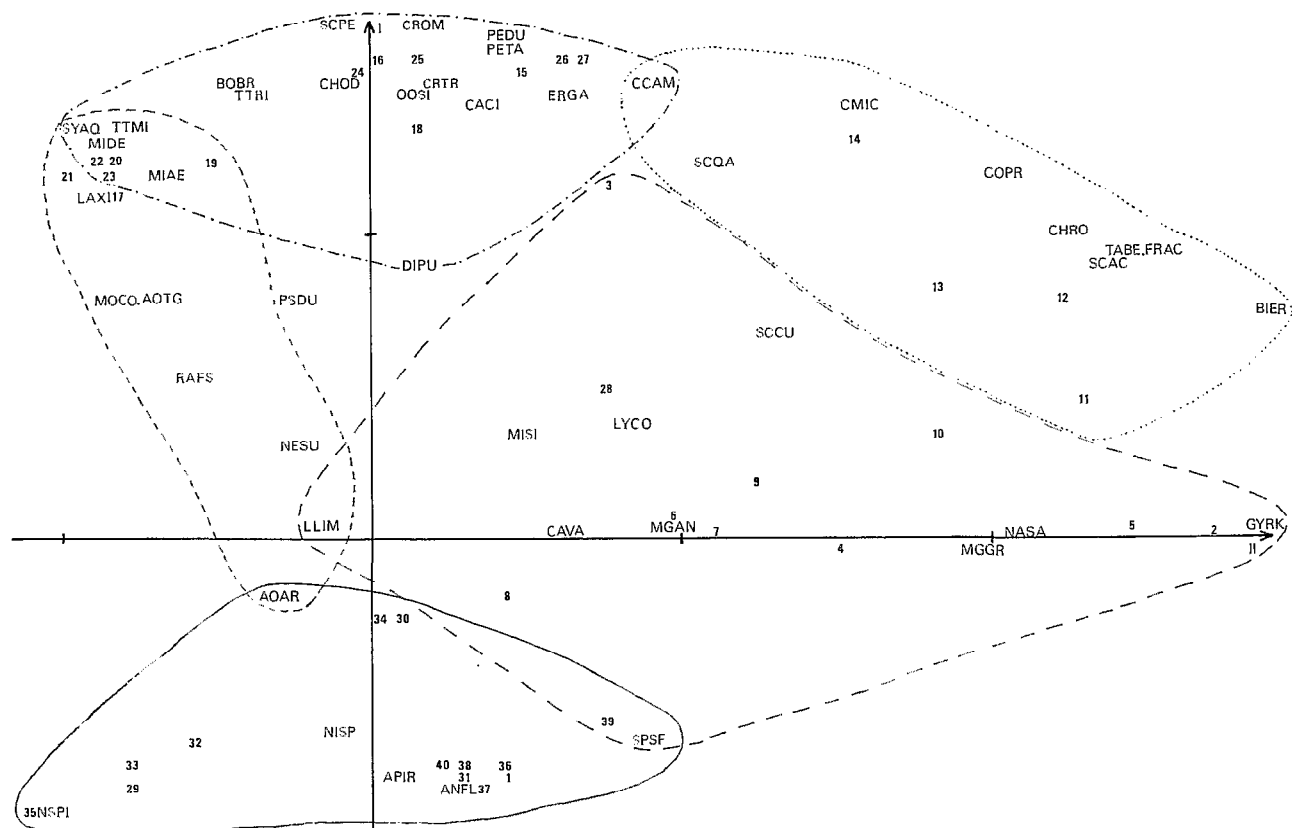


Fig. 13. — Voir légende page suivante.

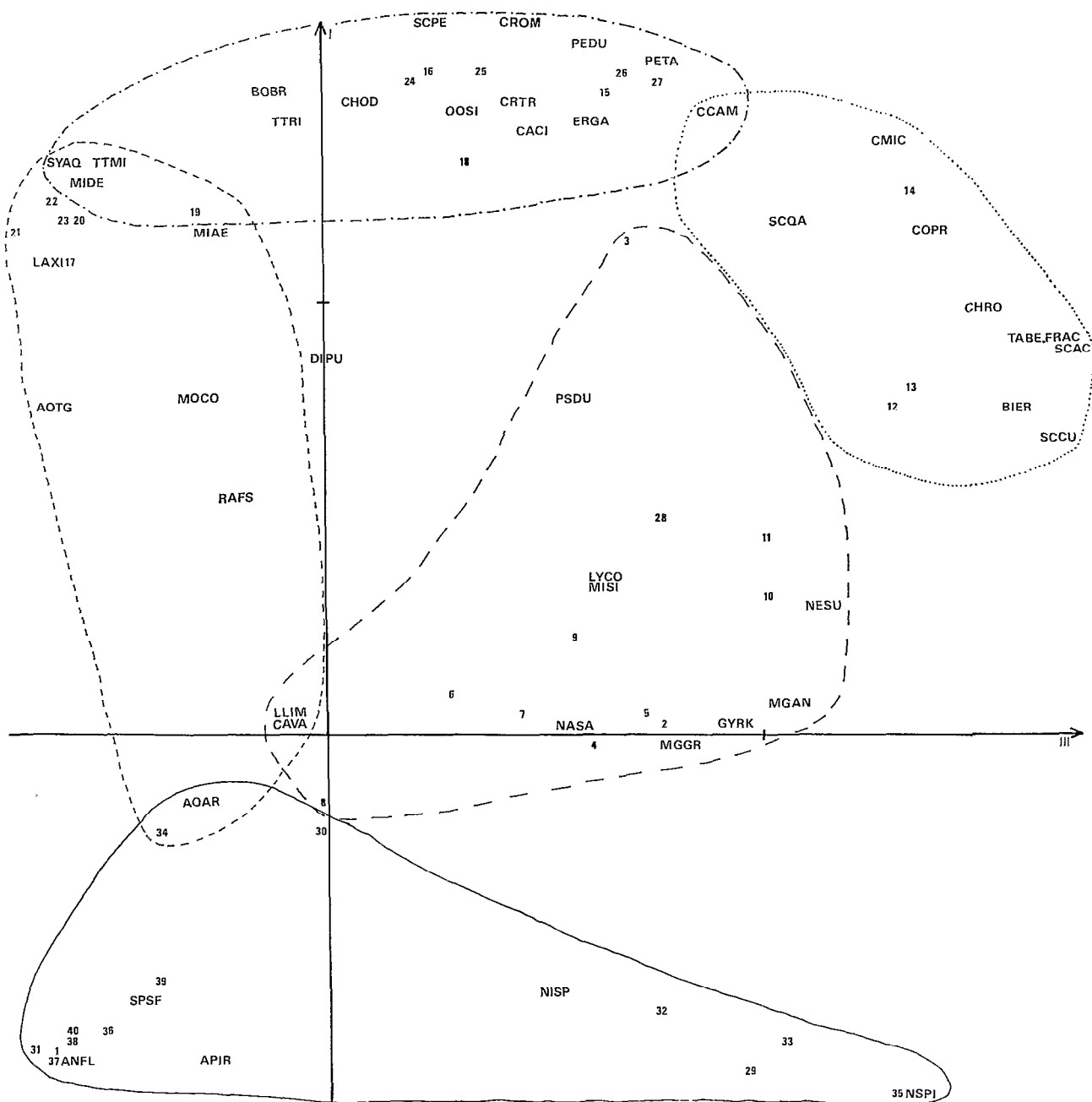


Fig. 13. — Position dans le plan des axes 1 et 2 (p. 48) et 1 et 3 (p. 49) des relevés et des espèces présentes dans le lac en janvier 1972. Le trait en tirets longs délimite les groupements des eaux libres du sud et du sud-est, le trait en pointillés ceux inféodés aux eaux libres du nord, le trait plein ceux de l'archipel de la cuvette sud, le trait en tireté et pointillé ceux de l'archipel de la cuvette nord et en tirets courts, ceux des extrémités nord-est et est de l'archipel.

11 % de *Synedra berolinensis*..... (Diatomées)
 9 % de *Fragilaria construens*..... (Diatomées)
 8 % d'*Oocystis* sp..... (Chlorophycées)
 8 % de *Lyngbya contorta*..... (Cyanophycées)
 5 % de *Coelastrum microporum*..... (Chlorophycées)
 2 % de *Lyngbya limnetica*..... (Cyanophycées)
 16 % de divers.

suivantes :

55 % d'*Anabaena flos-aquae*..... (Cyanophycées)
 23 % de *Nitzschia spiculum*..... (Diatomées)
 5 % de *Lyngbya limnetica*..... (Cyanophycées)
 3 % de *Nitzschia* sp..... (Diatomées)
 2 % d'*Anabaena spiroides*..... (Cyanophycées)
 12 % de divers.

Dans l'archipel de la partie est du lac, la biomasse est répartie schématiquement entre les espèces

tandis que dans la partie nord du lac, le phyto-
 plancton des îlots bancs et de l'archipel entourant

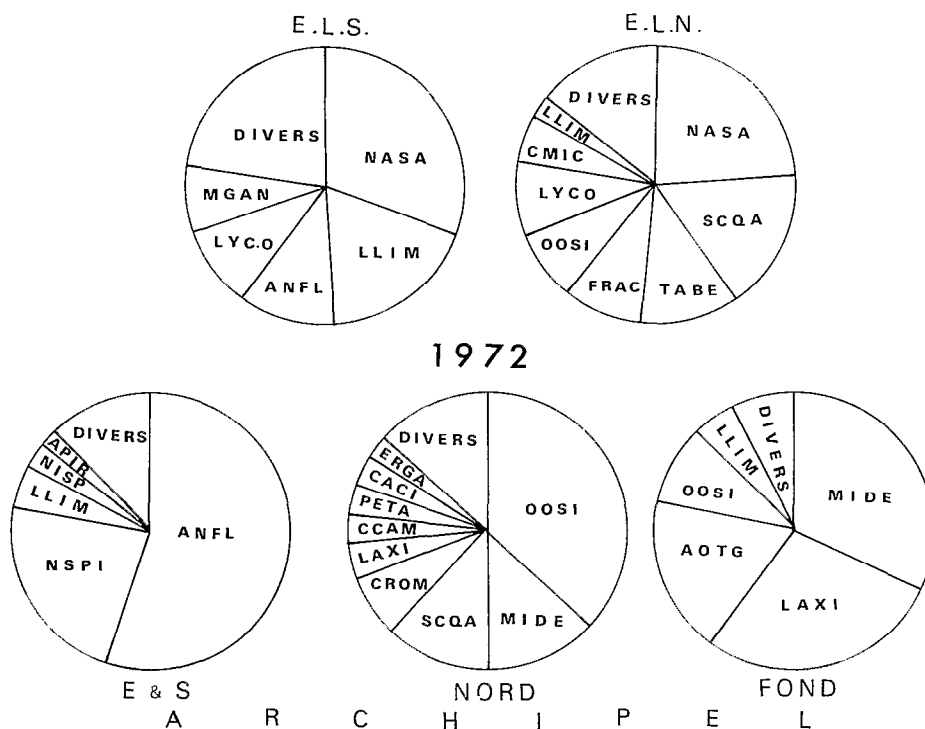


Fig. 14. — Composition relative des peuplements types existant dans le lac en 1972. Les abréviations taxinomiques utilisées sont identiques à celles des figures 11 et 13 (voir code ci-joint).

les eaux libres est composé de la façon suivante :

37 % d' <i>Oocystis</i> sp.....	(Chlorophycées)
13 % de <i>Microcystis delicatissima</i>	(Cyanophycées)
12 % de <i>Scenedesmus quadricauda</i>	(Chlorophycées)
7 % de <i>Chroomonas</i> sp.....	(Cryptophycées)
4 % d' <i>Oscillatoria latissima</i>	(Cyanophycées)
4 % de <i>Coelastrum cambricum</i>	(Chlorophycées)
4 % de <i>Pediastrum tetras</i>	(Chlorophycées)
4 % de <i>Closterium aciculare</i>	(Chlorophycées)
2 % d' <i>Eremosphaera gigas</i>	(Chlorophycées)
13 % de divers.	

Enfin, aux extrémités nord et nord-est du lac, on trouve des biomasses algales dominées par les mêmes espèces de Cyanophytes qu'en 1971 et comprenant en moyenne

32 % de <i>Microcystis delicatissima</i>	(Cyanophycées)
28 % d' <i>Oscillatoria latissima</i>	(Cyanophycées)
18 % d' <i>Anabaenopsis tanganyikae</i>	(Cyanophycées)
9 % d' <i>Oocystis</i> sp.....	(Chlorophycées)
5 % de <i>Lyngbya limnetica</i>	(Cyanophycées)
8 % de divers.	

7. GONCLUSION

Ces deux séries de prélèvements de février 1971

et janvier 1972 permettent une bonne appréciation de la biomasse phytoplanctonique, de sa composition et de sa répartition dans l'ensemble du lac; les trois groupes qui interviennent le plus dans le biovolume algal sont les Diatomées, les Chlorophytes et les Cyanophytes; ce dernier est le plus important et les Cyanophycées des genres *Microcystis*, *Anabaena*, *Anabaenopsis* et *Oscillatoria* composent la majorité de la biomasse dans toutes les zones où la densité algale est maximale, mis à part quelques développements massifs très localisés de *Melosira granulata* ou de *Nitzschia spiculum*.

Les biomasses calculées apparaissent dans l'ensemble élevées; il existe malheureusement peu d'éléments pour des comparaisons dans ce domaine avec d'autres lacs tropicaux. On remarquera un important accroissement de la biomasse moyenne entre 1971 et 1972; il s'accompagne d'une diminution du nombre d'espèces présentes entraînant une baisse des valeurs de la diversité spécifique et de la constante de milieu. L'étude des prélèvements effectués en 1974 et 1975, période pendant laquelle la baisse du lac a continué en s'accroissant montrera si cette évolution s'est poursuivie.

Les zones écologiques précédemment définies (CARMOUZE *et al.* 1972) apparaissent nettement dans

CODE DES TAXONS UTILISÉS
POUR L'ANALYSE FACTORIELLE

la répartition du phytoplancton aux deux périodes étudiées. Les peuplements des zones d'eaux libres se différencient toujours relativement bien des peuplements des zones d'îlots bancs et des archipels; toutefois en 1972 la coupure entre cuvette sud et cuvette nord qui apparaissait jusqu'à présent comme la plus importante est apparue moins marquée que celle différenciant peuplements des eaux libres et peuplements des archipels. On peut supposer de ce fait que la circulation des eaux dans le lac en fin 1971 et début 1972 a été différente de celle des années précédentes en raison du très bas niveau du lac (le lac Tchad s'est fragmenté en plusieurs nappes d'eaux isolées début 1973). Le développement de la végétation durant l'étiage 1971 (mai à septembre 1971) sur les hauts fonds séparant les eaux libres du sud-est de l'archipel directement situé au nord n'a très probablement permis qu'un passage relativement lent des eaux de crue du Chari en novembre-décembre 1971 vers l'archipel; il en résulte une colonisation rapide par le phytoplancton dans cette zone et des densités algales élevées (fig. 2), tandis que le passage vers la cuvette nord était facilité, comme le confirment la nature et la faible densité du plancton aux stations 10 et 28 dans la partie méridionale de la cuvette nord. Cette modification dans la répartition du phytoplancton entre 1971 et 1972 apparaît d'autant plus liée à la baisse des eaux que les observations faites lors d'une étude préliminaire sur le plancton de la partie est du lac (GRAS *et al.* 1967) en 1964-65, à une époque où le lac était donc approximativement à sa superficie maximale, ont montré en février 1965 une répartition des peuplements d'algues dans l'archipel identique à celle observée en février 1971.

Les espèces qui interviennent dans la composition du biovolume algal sont sensiblement les mêmes en 1971 et 1972 mais leurs proportions sont différentes de sorte que les peuplements types établis pour un même biotope ne correspondent pas entre eux d'une année à l'autre; ainsi dans les extrémités de l'archipel éloignées des eaux libres, les cinq taxons les plus abondants sont exactement les mêmes en février 1971 et janvier 1972 mais *Anabaenopsis tanganyikae* suivi de *Lyngbya limnetica* dominant en 1971 tandis que *Microcystis delicatissima* et *Oscillatoria laxissima* sont les plus abondants en 1972.

Aux deux périodes considérées, la diversité spécifique est dans l'ensemble du lac, maximale dans les eaux libres du nord; ses variations ainsi que celles de l'équitabilité paraissent liées aux conditions de milieu et permettent de caractériser les différentes zones écologiques définies.

<i>Melosira granulata</i>	MGGR
<i>Melosira granulata</i> var. <i>angustissima</i>	MGAN
<i>Coscinodiscus rudolfii</i>	CORU
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	CYCL
<i>Synedra ulna</i>	SYUL
<i>Nitzschia</i> sp. (petite forme).....	FRAC
<i>Synedra berolinensis</i>	TABE
<i>Gyrosigma kutzingii</i>	GYRK
<i>Navicula</i> sp.....	NASA
<i>Nitzschia</i> sp. (petite forme).....	NISP
<i>Nitzschia spiculum</i>	NSPI
<i>Surirella linearis</i>	SULI
<i>Surirella muelleri</i>	SPSF
<i>Tetradron minimum</i>	TTMI
<i>Tetradron trigonum</i>	TTRI
<i>Nephrochlamys subsolitaria</i>	NESU
<i>Crucigenia triangularis</i>	CRTR
<i>Crucigeniella crucifera</i>	CRUC
<i>Crucigenia tetrapedia</i>	TETR
<i>Oocystis</i> sp.....	OOSI
<i>Eremosphaera gigas</i>	ERGA
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	SCAC
<i>Scenedesmus acutus</i>	SCCU
<i>Scenedesmus intermedius</i>	SINT
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	SCQA
<i>Scenedesmus cornis</i>	SCGC
<i>Scenedesmus opoliensis</i>	SCOP
<i>Scenedesmus perforatus</i>	SCPE
<i>Pediastrum clathratum</i>	PSDU
<i>Pediastrum duplex</i>	PEDU
<i>Pediastrum tetras</i>	PETA
<i>Monoraphidium contortum</i>	MOCO
<i>Binuclearia eriensis</i>	BIER
<i>Coelastrum cambricum</i>	CCAM
<i>Coelastrum microporum</i>	CMIC
<i>Coelastrum proboscideum</i>	COPR
<i>Ankistrodesmus</i> sp.....	ANKG
<i>Quadrigula quaternata</i>	QQUA
<i>Chodatella</i> sp.....	CHOD
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	DIPU
<i>Botryococcus braunii</i>	BOBR
<i>Microactinium pusillum</i>	MAPU
<i>Eudorina elegans</i>	EUDO
<i>Gonatozygon monotaenium</i>	GOMO
<i>Glosterium aciculare</i>	CACI
<i>Glosterium acutum</i> var. <i>variabile</i>	CAVA
<i>Glosterium strigosum</i>	STRI
<i>Spirogyra</i> sp.....	PIRO
<i>Euglena</i> sp.....	EUGL
<i>Euglena oxyuris</i> f. <i>charkowiensis</i>	EOFC
<i>Trachelomonas</i> sp.....	TRAC
<i>Strombomonas</i> sp.....	STRO
<i>Phacus</i> sp.....	PHAC
<i>Lepocinclis</i> sp.....	LEPO
<i>Synechocystis minuscula</i>	SYAQ
<i>Synechococcus leopoliensis</i>	ROME
<i>Chroococcus limneticus</i>	CHRO

<i>Microcystis aeruginosa</i>	MIAE	<i>Raphidiopsis</i> sp.....	RAFS
<i>Microcystis delicatissima</i>	MIDE	<i>Oscillatoria</i> sp.....	OSCI
<i>Microcystis elachista</i>	MIOX	<i>Oscillatoria laxissima</i>	LAXI
<i>Microcystis</i> sp.....	MISI	<i>Oscillatoria platensis</i> f. <i>minor</i>	SPMI
<i>Anabaena flos-aquae</i>	ANFL	<i>Cryptomonas erosa</i>	CRYP
<i>Anabaena spiroides</i>	APIR	<i>Chroomonas</i> sp.....	CROM
<i>Anabaena</i> sp.....	ANSA	<i>Mallomonas portae ferrae</i>	MLPF
<i>Anabaenopsis arnoldii</i>	AOAR	<i>Peridinium</i> sp.....	PERD
<i>Anabaenopsis tanganyikae</i>	AOTG		
<i>Lyngbya contorta</i>	LYCO		
<i>Lyngbya limnetica</i>	LLIM		

Manuscrit reçu au Service des Publications le 6 janvier 1977.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BINET (D.), DESSIER (A.), GABORIT (M.), ROUX (M.), 1972. — Premières données sur les copépodes pélagiques de la région congolaise. II. Analyse des correspondances. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. X, n° 2 : 135-137.
- CARMOUZE (J. P.), 1971. — Circulation générale des eaux dans le lac Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, vol. V, n° 3-4 : 191-212.
- CARMOUZE (J. P.) *et al.*, 1972. — Grandes zones écologiques du lac Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, vol. VI, n° 2 : 103-169.
- DAGET (J.), 1970. — Les modèles mathématiques en écologie. Cours du D.F.A. d'écologie. Fac. Sci. Paris, 105 p, *multigr.*
- DURAND (J. R.), 1973. — Application de l'analyse des correspondances à l'étude de certains peuplements ichtyologiques du lac Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, vol. VII, n° 1 : 55-62.
- GRAS (R.), ILTIS (A.), LÉVÊQUE-DUWAT (S.), 1967. — Le plancton du bas Chari et de la partie est du lac Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, vol. I, n° 1-4 : 25-100.
- ILTIS (A.), ROUX (M.), 1974. — Phytoplancton des eaux natronées du Kanem (Tchad) IX. Application de l'analyse factorielle des correspondances à l'étude des peuplements. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, vol. VIII, n° 2 : 93-104.
- INAGAKI (H.), 1967. — Mise au point de la loi de Motomura et essai d'une écologie évolutive. *Vie et milieu*, B, 18, 1 : 153-166.
- INAGAKI (H.), LENOIR (A.), 1974. — Une étude d'écologie évolutive : application de la loi de Motomura aux fourmis. *Bull. Écol.*, 5, 3 : 207-219.
- LÉVÊQUE (C.), GABORIT (M.), 1972. — Utilisation de l'analyse factorielle des correspondances pour l'étude des peuplements en mollusques benthiques du lac Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, vol. VI, n° 1 : 47-66.
- MARGALEF (R.), 1958. — Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. in *Perspectives in Marine Biology*. Ed. Buzzati Traverso, Univ. California Press, Berkeley, Los Angeles : 323-347.
- MARGALEF (R.), 1967. — Some concepts relative to the organization of plankton. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 5 : 257-289.
- MOTOMURA (I.), 1932. — Étude statistique de la population écologique. *Doobutugaku Zasshi*, 44 : 379-383.
- ROCHE (M. A.), 1969. — Salinité des eaux in Monographie hydrologique du lac Tchad de Touchebeuf de Lussigny, *O.R.S.T.O.M., Service hydrologique* : 127-169, *multigr.*
- ROCHE (M. A.), 1969. — Évolution dans l'espace et dans le temps de la conductivité électrique des eaux du lac Tchad, d'après les résultats de 1908, 1957, 1962 à mars 1968. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrol.*, vol. VI, n° 1 : 35-74.
- TILHO (J.), 1928. — Variations et disparition possible du Tchad. *Ann. Géogr. Fr.*, 37 : 238-260.